

HENRYK FOBER

MINERALNE ŻYWIENIE

Buk jest zaliczany do gatunków średnio wymagających pod względem zaopatrzenia w składniki pokarmowe. W warunkach kontrolowanego żywienia mineralnego, siewki buka rosły najlepiej przy niższych niż dla dębu stężeniach azotu w pożywce oraz przy niższym w porównaniu ze świerkiem ogólnym stężeniu podstawowych elementów (Mitscherlich 1955). Również wymagane zaopatrzenie w fosfor jest niższe niż dla niektórych gatunków topól czy wiązów, a wyższe niż na przykład dla robinii (Schönnamsgrubber 1955). Natomiast buk ma duże wymagania w stosunku do wapnia, a szczególnie potasu (Baule, Fricker 1973). Według danych Mayer-Krapolla (1958), na wyprodukowanie 1 m³ drewna buk potrzebuje średnio 1,54 kg azotu; 0,17 kg fosforu; 1,1 kg potasu; 2,97 kg wapnia i 0,45 kg magnezu. Odnośnie do azotu jest to więcej niż u świerka czy jodły, a mniej niż u sosny, pod względem fosforu, potasu, magnezu, a szczególnie wapnia, potrzeby buka są większe w porównaniu z tymi gatunkami. Powyższe obliczenia nie uwzględniają zapotrzebowania pierwiastków na produkcję ulistnienia, które jest różne u poszczególnych gatunków.

Stan odżywczy drzew można między innymi określić za pomocą składu chemicznego liści. Stężenia poszczególnych pierwiastków w suchej masie liści wahają się w zależności od różnych czynników, z których najważniejszy wydaje się termin pobierania próbek liści do analiz chemicznych. Późnym latem, a szczególnie w sierpniu, w suchej masie liści buka stwierdzono następujące ilości makro- i mikroelementów: 1,76—2,60% azotu, 0,125—0,400% fosforu, 0,63—1,23% potasu, 0,29—1,83% wapnia, 0,07—0,25% mag-

nezu, 0,002—0,150% sodu, 0,056% siarki, 0,001—0,024% chloru, 0,24—0,75% krzemu, a ponadto 40—419 ppm żelaza, 165—5302 ppm manganu, 4,2—31 ppm miedzi, 0,95—55 ppm cynku, 0,053—0,120 ppm molibdenu, 1,5—7,8 ppm ołowiu, 22,4—40 ppm boru, 120—174 ppm glinu, 0,09—0,17 ppm kobaltu, 0,80—1,35 ppm niklu, 0,38—0,88 ppm wanadu, 7—13 ppm tytanu, 0,42—0,61 ppm chromu, 16—24 ppm strontu, 62—97 ppm baru, 0,026 ppm selenu i 0,014 ppm złota (G ä u m a n n 1935, O v i n g t o n 1956, A h r e n s 1964, G u h a, M i t c h e l l 1966, S t a e v a 1970, H o l s t e n e r - J ø r g e n s e n 1971, L e r o y, L e T a c o n 1971, D e n a e y e r - d e S m e t 1973, 1974, L e T a c o n, T o u t a i n 1973, B a r t o l i, B e a u c i r e 1976, N a j d e n o v, R a f a i l o v 1979). Są to zakresy stężeń w liściach drzew zdrowych, dobrze rosnących i mogą mieć wartość porównawczą przy określaniu stanu odżywczego drzew czy drzewostanów i prognozowaniu ewentualnego nawożenia mineralnego, a także przy określaniu przemysłowego skażenia środowiska, szczególnie przez metale ciężkie i inne elementy toksyczne.

W styczniu w pączkach buka stwierdzono 1,13—1,62% azotu, 0,227% fosforu, 0,56% potasu, 0,771% wapnia, 0,175% magnezu, 0,03% sodu, 0,084% siarki, 0,037% krzemu, 0,012% chloru, 310 ppm manganu i 210 ppm żelaza (G ä u m a n n 1935, R e n d o š 1964).

Stosunkowo niskie stężenia pierwiastków występują w drewnie pni dojrzałych drzew, a mianowicie 0,10—0,19% azotu, 0,011—0,019% fosforu, 0,03—0,14% potasu, 0,05—1,46% wapnia, 0,018—0,295% magnezu, 0,001—0,007% sodu, 0,014—0,015% siarki, 0,005—0,013% chloru, 0,019% krzemu, 30—270 ppm żelaza, 23—311 ppm manganu, 2,2—41 ppm miedzi, 8,4—11 ppm cynku, 1,5—3,0 ppm ołowiu, 3 ppm glinu, 0,6 ppm kobaltu, 11 ppm niklu, 0,19 ppm kadmu, 11 ppm chromu i 0,018 ppm złota (G ä u m a n n 1935, R e n d o š 1964, D e n a e y e r - d e S m e t 1968, 1973, 1974, K r a m á r i i n. 1977, N a j d e n o v, R a f a i l o v 1979, M a y e r, H e i n r i c h s 1981).

Wielokrotnie wyższe niż w drewnie, są stężenia pierwiastków w korze pni, na przykład według G ä u m a n n a (1935): 0,86—

—0,90% azotu, 0,065% fosforu, 0,415% potasu, 2,81% wapnia, 0,096% magnezu, 0,014% sodu, 0,056% siarki, 0,001% chloru, 0,177% krzemu, 489 ppm żelaza i 387 ppm manganu. Denayer-de Smet (1973, 1974) stwierdził natomiast tylko 74 ppm żelaza, ale aż 2935 ppm manganu, a ponadto 20 ppm cynku, 11 ppm miedzi oraz 17 ppm ołowiu.

Korzenie siewek zawierały w suchej masie 1,10—1,21% azotu, 0,078—0,092% fosforu, 0,43—0,50% potasu i 0,16—0,31% wapnia (Burschel 1966), natomiast w korzeniach do 2 mm średnicy u 125-letnich buków było 0,039—0,109% fosforu, 0,173—0,496% potasu, 0,25—1,48% wapnia, 0,034—0,139% magnezu, 0,005—0,029% sodu, 0,075—0,148% siarki oraz 387—3280 ppm żelaza, 105—290 ppm manganu, 5,3—22 ppm miedzi, 53—150 ppm cynku, 14—106 ppm ołowiu, 420—7760 ppm glinu, 0,1—3,1 ppm kobaltu, 4,1—6,9 ppm niklu, 1,3—10,4 ppm chromu i 0,3—2,5 ppm kadmu (Mayer, Heinrichs 1981).

Nie wszystkie pierwiastki w jednakowym stopniu wpływają na wzrost i rozwój drzew. Niektóre są niezbędne dla normalnego wzrostu, a zakres ich stężeń w różnych tkankach odzwierciedla stan odżywczy rośliny. Inne z kolei są dla roślin obojętne i nie wpływają istotnie na wzrost. Zawartość tych pierwiastków w roślinach odzwierciedla jedynie ich zawartość w glebie i ewentualnie możliwość ich przyswajania. Trzecia grupa elementów, to pierwiastki o działaniu toksycznym, które przy stosunkowo małych zakresach stężeń w glebie wpływają bardzo ujemnie na wzrost i rozwój roślin. Fizjologiczna rola poszczególnych elementów mineralnych przedstawiona jest prawie we wszystkich podręcznikach fizjologii roślin oraz w literaturze specjalistycznej dotyczącej drzew leśnych (Baule, Fricker 1973, Fiedler i in. 1973).

Zawartości pierwiastków w tkankach roślin podlegają silnym zmianom sezonowym. Dotyczy to w szczególności pączków oraz liści. W pączkach największe zmiany zawartości azotu występują w okresie od stycznia do maja, kiedy to stężenie tego pierwiastka w suchej masie pączków wzrasta od 1,6—3,3% (Gäumann 1935). Nowe pączki zaczynają się pojawiać w czerwcu i lipcu, ale

pomimo ich intensywnego wzrostu wykazują mniej więcej równy poziom stężenia azotu.

Stężenie azotu w liściach w ciągu sezonu wegetacyjnego zmienia się dwu-, a nawet trzykrotnie, przy czym w okresie lipiec-wrzesień utrzymuje się na stałym poziomie (G ä u m a n n 1935, L e T a c o n, T o u t a i n 1973). Na początku sezonu wegetacyjnego bardzo szybko spada stężenie fosforu w liściach, z około 0,4% w maju do 0,12% w czerwcu (L e T a c o n, T o u t a i n 1973). W późniejszym okresie stężenie fosforu zmniejsza się już w niewielkim stopniu. Dużą zmienność wykazuje potas, którego stężenie w liściach wyraźnie spada w miesiącach maj-lipiec i wrzesień-październik, natomiast w miesiącach letnich lekko wzrasta (L e T a c o n, T o u t a i n 1973). W ciągu całego sezonu wegetacyjnego rośnie stężenie wapnia, krzemu, a na niektórych siedliskach również manganu (A h r e n s 1964, L e T a c o n, T o u t a i n 1973, B a r t o l i, B e a u c i r e 1976). G u h a i M i t c h e l l (1966) zauważyli, że stężenie kobaltu, niklu, żelaza, wanadu, tytanu, chromu, ołowiu i glinu spada na początku sezonu, po czym szybko wzrasta aż do okresu starzenia się liści, kiedy to znowu spada. Stężenia miedzi, molibdenu, cynku i sodu zmniejszały się stopniowo, pozostając na stałym poziomie w okresie środka sezonu wegetacyjnego, natomiast absolutne wartości oraz koncentracja w liściach manganu, boru, krzemu, strontu, baru i magnezu rosły ciągle do końca sezonu.

Wartość stosunku C/N, który wyraża w przybliżeniu stosunek węglowodanów do białek, zwiększa się wraz z wiekiem liści na drzewie, korelując ze zmniejszaniem się zawartości azotu i zwiększaniem lignin, i osiąga swe maksimum w czasie opadania liści (G l o a g u e n, T o u f f e t 1982). R e n d o š (1964) badał stężenie azotu w drewnie pni 50-letnich buków i nie stwierdził istotnych zmian sezonowych.

Na sezonowe zmiany stężeń pierwiastków w tkankach mają wpływ różne czynniki. Spadek koncentracji jakiegoś pierwiastka może być wynikiem tak zwanego „efektu rozcieńczenia” związanego ze zmianami suchej masy, na przykład pączków czy liści, lub może być spowodowany przemieszczaniem się pierwiastka z jed-

nych organów do innych. Fosfor zaliczany do pierwiastków ruchomych nie akumuluje się w dojrzałych liściach, lecz jest przemieszczany do części rosnących, w przeciwieństwie do wapnia, który jest stopniowo gromadzony w liściach. Na podstawie własnych badań Guha i Mitchell (1966) stwierdzają, że podobnie jak wapń zachowują się stront, bar, bor, krzem i wiele metali. Natomiast fosfor, potas, cynk, miedź, sód i magnez nie gromadzą się w liściach i prawdopodobnie są przemieszczane z dojrzałych liści do młodszych tkanek w okolicy merystemu wierzchołkowego.

Galusko (1963) stwierdził zmiany zawartości wody i stężenia azotu w liściach w ciągu doby. Procentowa zawartość wody była najniższa w południe, a najwyższa w godzinach wieczornych. Stężenie azotu w suchej masie liści wykazywało tendencję spadkową w ciągu doby.

Istnieje też zmienność stężenia pierwiastków w koronie drzewa. W wierzchołkowych partiach korony stwierdzono mniejsze stężenie w liściach wapnia, baru i strontu, a także niektórych pierwiastków metalicznych takich jak glin, ołów, chrom, tytan czy wanad (Guha, Mitchell 1966). Poller i Hoffmann (1967) wykazali niewielki, ale statystycznie istotny wzrost zawartości popiołu w drewnie wraz z wysokością pnia. U 85-letnich buków koncentracja wapnia i potasu była wyższa w drewnie na zewnątrz pnia niż w jego środku (Denayer-de Smet 1968).

Skład chemiczny liści może się różnić w zależności od ich ekspozycji w stosunku do światła. Otóż liście rosnące w miejscu oświetlonym mają wyższą zawartość wapnia, a niższą manganu, niż rosnące w cieniu (Gutschick 1940, Haas, Kausch 1966).

Próbki liści do analiz chemicznych należy pobierać zatem w miesiącach lipiec-sierpień i z tego samego poziomu korony drzewa. W tym terminie w wyrosniętych już organach asymilacyjnych stężenie licznych pierwiastków utrzymuje się przez dłuższy czas na stałym poziomie (Schönnamsgrubner 1959). Le Tacon i Toutain (1973) uważają, że dla uzyskania pewnego szacunku stanu odżywczego buka, próbki liści należy zbierać w sierpniu, gdy występuje równowaga między syntezą w liściach a przemieszczaniem produktów fotosyntezy do drewna.

Przy opracowywaniu wyników analiz chemicznych liści należy pamiętać o zmienności siedliskowej (Camp 1948, Ahrens 1964, Bartels 1967, Poller, Hoffmann 1967, Hoffmann 1968, Mayer, Heinrichs 1981). Le Tacon i Toutain (1973) pobierali próbki liści w sierpniu, z buków rosnących na 65 stanowiskach reprezentujących różne siedliska. Stwierdzili statystycznie istotne różnice między stanowiskami pod względem zawartości manganu, a następnie wapnia, żelaza, fosforu, potasu, azotu, a najmniej pod względem magnezu.

Wówczas, gdy zaopatrzenie gleby w składniki pokarmowe jest niedostateczne, obserwujemy u drzew charakterystyczne objawy niedoboru. W organach asymilacyjnych spada poniżej wartości granicznych stężenie brakujących pierwiastków, a równocześnie na liściach mogą wystąpić mniej lub bardziej wyraźne przebarwienia i zmiany nekrotyczne.

Przy niedoborze azotu liście są małe i zabarwione na żółtozielono, przy czym przebarwienie obejmuje zawsze cały aparat asymilacyjny (Baule, Fricker 1973).

Niedobór fosforu powoduje, że liście nabierają barwy ciemnozielonej, a niedostatek potasu powoduje brązowienie brzegów blaszek liściowych. Brak magnezu u drzew liściastych objawia się w postaci żółtych, jaśniejszych plam, ulokowanych między nerwami liściowymi. Day (1946) obserwował chlorozy u buków rosnących na płytkich glebach wapiennych. Bezpośrednią przyczyną tych chloroz była niezdolność do wykorzystania żelaza.

Badania nad żywieniem mineralnym drzew nie ograniczają się do analiz chemicznych poszczególnych organów, lecz obejmują także doświadczenia wazonowe prowadzone w kontrolowanych warunkach żywienia mineralnego oraz doświadczenia terenowe z nawożeniem drzew, zarówno w szkółkach leśnych, jak też na uprawach i w starszych drzewostanach.

Prenzel (1979) badał pobieranie składników mineralnych na podstawie stężeń pierwiastków w roztworze glebowym oraz transpiracyjnego pobierania wody. Spośród 11 pierwiastków korzenie badanych drzew ograniczały pobieranie glinu, chloru i sodu, były

obojętne w stosunku do siarki, żelaza i magnezu, a wybiórczo pobierały fosfor, azot, potas, wapń i mangan.

W licznych doświadczeniach wazonowych bada się przede wszystkim wpływ warunków glebowych na wzrost i rozwój siewek buka, przy czym oprócz różnych rodzajów gleb stosuje się często dodatkowe, zróżnicowane nawożenie mineralne. Na podstawie wyników formułuje się zalecenia nawozowe. Do szybkiej i ekonomicznej uprawy siewek buka Le Tacon (1974) oraz Delran i in. (1975) polecają zastosowanie samego torfu razem z silnym nawożeniem NPK. Charitonov (1970) zaleca wapnowanie leśnych kultur na brunatnych górskich glebach leśnych w Karpatach Wschodnich w dawkach 3 tony mielonego wapniaku lub 0,4 tony gipsu na hektar uprawy. Wapnowanie w dawkach 7,5—15 g na sadzonkę pożądanę jest również przy zakładaniu upraw na glebach charakterystycznych dla zachodniego lasostępu (Charitonov 1978a). Dla uzyskania optymalnych przyrostów buka na uprawach w Karpatach, Charitonov i Ermolaeva (1969) zalecają w czasie sadzenia jednorazowe nawożenie superfosfatem w ilości 2—3 g na sadzonkę, a następnie w drugim roku wiosną 2,5 g soli potasowej i 2 g saletry amonowej.

W doświadczeniach wazonowych badane są także cechy rozwojowe siewek, jak na przykład wpływ żywienia mineralnego na stosunek masy korzenia do części nadziemnej (Charitonov 1978b) czy stosunek długości korzenia do powierzchni liści (Mejer 1961).

Doświadczenia prowadzone w formie kultur piaskowych mają na celu opracowanie modelu warunków optymalnego żywienia mineralnego (Mitscherlich 1955).

W szkółkach leśnych siewki buka reagowały głównie na nawożenie azotowe (Tulstrup 1951, Hoffmann 1962). Według Hoffmanna (1962) korzystnego działania nawożenia azotowego można oczekiwać tylko wówczas, gdy gleba ma mało próchnicy i przez kilka lat nie stosowano nawozu organicznego. W tych warunkach najbardziej korzystna jest dawka 40—80 kg N/ha/rok przy wystarczającym zaopatrzeniu gleby w pozostałe elementy.

Nie stwierdzono wpływu nawożenia fosforowego i potasowego na przeżycie i wzrost siewek buka w szkółce (Tulstrup 1951, Fourt, Pyatt 1973).

Zabiegi nawożeniowe mają przede wszystkim na celu polepszenie i przyspieszenie wzrostu naturalnego bądź sztucznego odnowienia buka. Uzyskiwane rezultaty są jednak często sprzeczne. Zbyt często nawożenie odnowień buka jest mało skuteczne lub nie daje żadnych efektów (Franz i in. 1956, Bredow-Stechow 1963, Borchers i in. 1964, Leroy, Le Tacon 1971), a nawet może oddziaływać negatywnie na cechy wzrostowe i rozwojowe siewek (Gussone 1978). W innych doświadczeniach odnowienie buka zareagowało pozytywnie na nawożenie NPK, ale tylko w wypadku prześwietlenia drzewostanu (Huss 1978, Huss, Stephani 1978). Głównymi czynnikami ograniczającymi działanie zabiegów nawożeniowych są brak światła pod okapem starego drzewostanu, niedostatek wilgoci w czasie suchych lat oraz brak kontroli zachwaszczenia.

Stier (1958) uzyskał pozytywną reakcję siewek buka z naturalnego odnowienia pod względem wzrostu i rozwoju oraz w odporności na brak światła, po nawożeniu gazowym amoniakiem. Burschel (1966) natomiast po zastosowaniu nawożenia różnymi kombinacjami N, P, K i Ca uzyskał polepszenie wzrostu siewek buka zarówno na otwartej przestrzeni, jak i pod drzewostanem. W porównaniu z kontrolą, siewki na otwartej powierzchni miały o 54—87% większą masę i były o 23—42% wyższe. Dla siewek rosnących pod okapem drzewostanu odpowiednie wartości wynosiły 35—50% i 12—17%.

Doświadczenia nawozowe wykonane na uprawach oraz w starszych drzewostanach bukowych również wskazują na bardzo zróżnicowaną reakcję tego gatunku na nawożenie mineralne. W literaturze są informacje o korzystnym wpływie aplikowania azotu na przyrósł wysokości (Holstener-Jørgensen 1964, Kern 1973, Amorini, Gambi 1975, Gussone 1978), średnicy (Holstener-Jørgensen 1971) czy zapasu masy (Hausser 1971, Pasternak i in. 1978). Burg i Peeters (1977) uzyskali pozytywną reakcję buka na nawożenie azotowe, ale tylko

na glebach lekkich, podczas gdy na glebach ciężkich, z mocnym zachwaszczeniem takiej reakcji nie stwierdzono. W Danii Møller i in. (1969) uzyskali brak reakcji na nawożenie azotowe na młodej plantacji buka 8-letniego oraz negatywną reakcję, czyli mniejszy wzrost w starszych drzewostanach w wieku 31—36 lat. Zróżnicowana reakcja buka dotyczy również nawożenia fosforowego i potasowego.

W Karpatach na brunatnych glebach górskich drzewostany bukowe dobrze reagowały na aplikowany wapniak, zwiększonymi przyrostami grubości i masy, podczas gdy gips miał niekorzystny wpływ (Charitonov 1973, 1978c). Lohwasser (1953) informuje o dodatkowym przyroście masy drzewostanów bukowych spowodowanym wapnowaniem, przy czym zwiększenie przyrostów było największe po trzebieży. Kennel (1967) natomiast nie stwierdził żadnego działania wapnia na przyrost masy 74-letniego drzewostanu bukowego w Bawarii. Zadowolających wyników po wapnowaniu można tylko wówczas oczekiwać, gdy przy wystarczającym zaopatrzeniu w pozostałe główne składniki pokarmowe, istnieje niedobór wapnia i zakwaszenie gleby (Seibt 1977). Altherr i Evers (1974) oraz Gussone (1978) donoszą o zwiększonych przyrostach drzewostanów bukowych po nawożeniu magnezem.

Doświadczenia nawozowe polegają najczęściej na równoczesnym aplikowaniu różnych kombinacji nawozów azotowych, fosforowych, potasowych, wapniowych i magnezowych. Uzyskiwane wyniki są również bardzo zróżnicowane, od pozytywnego wpływu na przyrost średnicy i wysokości drzew (Trillmich 1969, Kern, Moll 1971, Kern 1973, Pasternak i in. 1978) do braku reakcji (Hausser 1971) lub wręcz negatywnych skutków takich traktowań (Mitscherlich, Wittich 1963, Kennel 1967, Møller i in. 1969). W porównaniu z innymi gatunkami, buk zasiedla żyźniejsze siedliska, dobrze zaopatrzone w składniki pokarmowe. Dlatego też zadowolające wyniki z nawożenia uzyskuje się jedynie na wyjątkowo ubogich siedliskach.

Oceniając zaopatrzenie gleby w składniki pokarmowe w drzewostanach bukowych, należy pamiętać o jesiennym opadzie liści,

wraz z którymi do gleby wracają znaczne ilości pierwiastków (Aussenac i in. 1972). Praag i in. (1974) wykazali, że na siedlisku naturalnego lasu bukowego ilość powstałego w czasie mineralizacji ściółki azotu jest bliska ilości absorbowanej przez korzenie drzew. Ponadto pewne ilości pierwiastków dostają się do gleby wraz z wodą deszczową opłukującą korony drzew (Ulrich 1968, Aussenac i in. 1972, Lemée 1974, Forgeard i in. 1980).

Instytut Dendrologii PAN
ul. Parkowa 5
62-035 Kórnik

LITERATURA

- Ahrens E. 1964. Untersuchungen über den Gehalt von Blättern und Nadeln verschiedener Baumarten an Kupfer, Zink, Bor, Molybdän und Mangan. Allg. Forst- u. Jagdztg. 135 (1): 8—16.
- Altherr E., Evers F.H. 1974. Unerwarteter Düngungserfolg bei Magnesiummangel in einem jungen Buchenbestand auf mittlerem Buntsandstein des Odenwaldes. Allg. Forst- u. Jagdztg. 145 (7): 121—125.
- Amorini E., Gambi G. 1975. Prove di concimazione in una fustaia transitoria di faggio. Ann. Ist. Sper. Selv., Arezzo 6: 53—74.
- Aussenac G., Bonneau M., Le Tacon F. 1972. Restitution des éléments minéraux au sol par l'intermédiaire de la litière et des précipitations dans quatre peuplements forestiers de l'Est de la France Oecol. Plant. 7 (1): 1—21.
- Bartels H. 1967. (Mineral content and germination of *Fagus sylvatica* seed of different provenances.) Forstarchiv 38 (9): 203—209. Forestry Abstr. 38 No. 2085.
- Bartoli F., Beaucire F. 1976. Accumulation du silicium dans les plantes vivantes en milieux pédogénétiques tempérés aérés. C.R. Acad. Sc. Paris, D 282 (22): 1947—1950.
- Baule H., Fricker C. 1973. Nawożenie drzew leśnych. PWRiL, Warszawa.
- Borchers K., Gussone H.A., Kramer H. 1964. (Results of fertilizer trials in the Boffzen, Neuhaus and Schöningen districts in Lower Saxony.) Aus dem Walde, Hannover No. 8: 76—108. Forestry Abstr. 26 No. 3666.
- Bredow-Stechow W. 1963. Buchenverjüngung und Düngung. Allgem. Forstzeitschrift 18 (11): 171.

- Burg J., Peeters J.P. 1977. (Fertilization and mineral nutrition of hardwoods on young marine soils.) *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 49 (9): 253—263. *Forestry Abstr.* 41 No. 3376.
- Burschel P. 1966. Untersuchungen über die Düngung von Buchen- und Eichen-Verjüngungen. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 237 (9; 10): 193—201; 221—236.
- Camp J.C. 1948. The nutrient element content of the foliage of certain species of minor forest vegetation. *J. For.* 46 (11): 823—826. *Forestry Abstr.* 10 No. 2439.
- Charitonov G.A. 1970. Značenje izvestkovanja i gipsovania pri viraščivanii lesnych kul'tur v Karpatach. *Izvestija Vysšich Učebnych Zavedenij. Lesnoj Žurnal* 13 (4): 5—7.
- Charitonov G.A. 1973. Vlijanie izvestkovanja i gipsovania na prirast lesnych nasaždenij v Karpatach. *Lesnoe Chozj.* 26 (7): 25—29.
- Charitonov G.A. 1978a. Vlijanie kosvenno dejstvujuščich udobrenij na rost sažencev lesnych porod v zapadnoj lesostepi. *Izvestija Vysšich Učebnych Zavedenij. Lesnoj Žurnal* 21 (2): 20—23.
- Charitonov G.A. 1978b. Vlijanie udobrenij na sootnošenie nadzemnoj i podzemnoj časti drevesnych sažencev. *Lesnoj Žurnal* 21 (4): 19—22.
- Charitonov G.A. 1978c. Gips — udobrenie lesnych počv. *Lesnoe Chozj.* 31 (11): 32—34.
- Charitonov G.A., Ermolaeva V.N. 1969. Perspektivy primenenija mineral'nych udobrenij v lesnych kul'turach Karpat. *Lesnoe Chozj.* 22 (6): 52—56.
- Day W.R. 1946. The pathology of Beech on chalk soils. *Quart. J. For.* 40 (2): 72—82. *Forestry Abstr.* 8 No. 1381.
- Delran S., Garbaye J., Le Tacon F. 1975. (Rapid production of hardwoods on fertilized peat. New results.) *Rev. For. Française* 27 (6): 436—448. *Forestry Abstr.* 38 No. 214.
- Denaeyer-de Smet S. 1968. Quelques données sur les teneurs en K et Ca des sèves xylémiques des racines, troncs et branches des essences forestières en fin de repos hivernal. *Bull. Soc. Bot. Belg.* 101 (1): 155—176.
- Denaeyer-de Smet S. 1973. Comparaison du cycle biologique annuel de divers oligoéléments dans une pessière (*Piceetum*) et dans une hêtraie (*Fagetum*) établies sur même roche-mère. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* 106 (1): 149—165.
- Denaeyer-de Smet S. 1974. Cycle biologique annuel et distribution du plomb dans une Pessière (*Piceetum*) et une Hêtraie (*Fagetum*) établies sur même roche-mère. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* 107: 115—125.
- Fiedler H.J., Nebe W., Hoffmann F. 1973. Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Forgeard F., Gloaguen J.C., Touffet J. 1980. Interception des précipitations et apport au sol d'éléments minéraux par les eaux de pluie

- et les pluviolessivats dans une hêtraie atlantique et dans quelques peuplements résineux en Bretagne. Ann. Sci. Forest. 37 (1): 53—71.
- Fourt D.F., Pyatt D.G. 1973. Soil studies. Report on Forest Research, Forestry Commission, UK: 61—66.
- Franz H., Jelem H., Fink J. 1956. Untersuchungen zur forstlichen Standortsverbesserung. Ergebnisse der wissenschaftlichen Bearbeitung von Meliorationsversuchen in Österreich mit besonderer Berücksichtigung der Walddüngung. Mitt. forstl. Vers. Anst., Mariabrunn 53: 1—88.
- Galuško A.M. 1963. Izmenenie chimičeskogo sostava list'ev buka v tečenie dnja. Naučnye Doklady Vysšej Školy (Biologičeskie Nauki), Moskva (1): 152—154.
- Gäumann E. 1935. Der Stoffhaushalt der Buche (*Fagus sylvatica* L.) im Laufe eines Jahres. Schweiz. Bot. Gesell. Ber. 44: 157—334.
- Gloaguen J.C., Touffet J. 1982. (Changes in the C/N ratio in foliage and during litter decomposition in a Mediterranean climate. Beech and some conifers.) Ann. Sci. Forestières. 39 (3): 219—230. Forestry Abstr. 45 No. 1075.
- Guha M.M., Mitchell R.L. 1966. The trace and major element composition of the leaves of some deciduous trees. II. Seasonal changes. Plant and Soil 24 (1): 90—112.
- Gussone H.A. 1978. (Fertilization of oak and beech in the German Federal Republic.) Nancy-Champenoux, France; Station de Sylviculture et de Production No. 78/08: 116—125. Forestry Abstr. 41 No. 7257.
- Gutschick V. 1940. Untersuchungen über den Umlauf des Mangans und Eisens im Walde. Thar. Forstl. Jb. 91: 595—645. Forestry Abstr. 8 No. 1597.
- Haas W., Kausch W. 1966. (The Ca/K and raw lignin/holocellulose quotients in sun and shade leaves of Copper Beech). Naturwissenschaften 53 (4): 112. Forestry Abstr. 28 No. 123.
- Hausser K. 1971. Düngungsversuche zu 70- bis 90-jährigen Buchenbeständen auf der Schwäbischen Alb. Allg. Forst- u. Jagdztg. 142 (8/9): 225—233.
- Hoffmann F. 1962. Auswertung einiger Düngungsversuche in forstlichen Pflanzgärten aus den Jahren 1960 und 1961. Sozial. Forstw. Berl. 12 (6): 172—177.
- Hoffmann G. 1968. Veränderungen des Gewichtes und des Stickstoffgehaltes wachsender Zapfen und Früchte verschiedener Waldbäume. Arch. Forstw. 17 (6): 629—639.
- Holstener-Jørgensen H. 1964. Et kvalitativt gødningsforsøg i en bøgkultur på gammel graesslette i Jaegersborg Dyrehave. Det forstlige Forsøgsvaesen 29 (1): 25—53.
- Holstener-Jørgensen H. 1971. Et kvælstofdoseforsøg med enkelt-

- trae-parceller i 68—75 arig bøg i Rude Skov. Det forstlige Forsøgsvaesen 32 (4): 367—378.
- Huss J. 1978. Support of young beech regeneration by opening shelter-stands, by herbicides, and fertilization. Nancy-Champenoux, France: Station de Sylviculture et de Production No. 78/08: 138—146. Forestry Abstr. 41 No. 7259.
- Huss J., Stephani A. 1978. Lassen sich angekommene Buchennaturverjüngungen durch frühzeitige Auflichtung, durch Düngung oder Unkrautbekämpfung rascher aus der Gefahrenzone bringen? Allg. Forst- u. Jagdztg. 149 (8): 133—145.
- Kennel R. 1967. Ertragskundliche Ergebnisse neuer Düngungsversuche in Kiefern-, Fichten und Buchenbeständen Bayerns. Forstwiss. Cbl. 86 (1): 13—28.
- Kern K.G. 1973. Zur Auswirkung von Meliorationsmassnahmen auf Bestandeswachstum und Landschaftsgestaltung — Beispiele aus dem Harzrandgebiet. Allg. Forst- u. Jagdztg. 144 (4): 81—86.
- Kern K.G., Moll W. 1971. Zur Düngung von Kiefern-Buchen-Kulturen. Allg. Forst- u. Jagdztg. 142 (5): 127—139.
- Kramár A., Zákutná L., Ebringerová A. 1977. Anatomická štruktúra a chemické zloženie bukovej kory. Papír a Celulóza No. 11: V57—V62, V66.
- Lemée G. 1974. Recherches sur les écosystèmes des réserves biologiques de la forêt de Fontainebleau IV. — Entrées d'éléments minéraux par les précipitations et transfert au sol par le pluviollessivage. Oecol. Plant. 9 (3): 187—200.
- Leroy P., Le Tacon F. 1971. Un cas d'inefficacité de la fertilisation minérale. Résultat d'un essai effectué sur régénération de hêtres en forêt domaniale de Ligny-en-Barrois (Meuse). Rev. For. Franç. 23 (4): 448—450.
- Le Tacon F. 1974. (The best conditions for raising Beech seedlings.) Rev. For. Franç. 26 (4): 299—305. Forestry Abstr. 36 No. 6230.
- Le Tacon F., Toutain F. 1973. Variations saisonnières et stationnelles de la teneur en éléments minéraux des feuilles de hêtre (*Fagus sylvatica*) dans l'est de la France. Ann. Sci. Forest. 30 (1): 1—29.
- Lohwasser W. 1953. Kalkdüngungsversuche im Eggegebirge und Hunsrück: ertragskundliche Untersuchungen. Forstarchiv 24 (9/10): 213—222. Forestry Abstr. 15 No. 3554.
- Mayer R., Heinrichs H. 1981. Gehalte von Baumwurzeln an chemischen Elementen einschliesslich Schwermetallen aus Luftverunreinigungen. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 144 (6): 637—646.
- Mayer-Krapoll H. 1958. Ohne Sicherung der Nährstoffversorgung un-

- serer Bestände keine Steigerung der Holzerzeugung. Forst- u. Holzwirt 13 (16): 291—295.
- Meyer F.H. 1961. Die Entwicklung von Buchenjungepflanzen in unterschiedlichem Bodenmilieu. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 74 (7): 292—299.
- Mitscherlich E.A. 1955. Düngung in Saatkamp. Arch. Forstw. 4 (4): 302—308.
- Mitscherlich G., Wittich W. 1963. (Fertilizer trials in older stands in the Lutter a. B. forest district.) Aus dem Walde, Hannover No. 6: 5—50. Forestry Abstr. 24 No. 4978.
- Møller C.M., Scharff O., Dragsted J.R. 1969. 10 years' fertilizing experiments in Norway Spruce and Beech representing the main variations in growth conditions in Denmark. Forstl. Forsøgsv. Danm. 31 (2): 85—278.
- Najdenov M., Rafailov G. 1979. Nedestruktivni neutronno-aktivizacijeni analiz (NAA) na rastitelni organi na gorskod rvesni vidove. Naučni Trudove, Vysšij Lesotehničeskij Institut, Sofija (Gorsko Stopanstvo) 24: 61—68.
- Ovington J.D. 1956. The composition of tree leaves. Forestry 29 (1): 22—28.
- Pasternak P.S., Stefurak V.P., Zadorova G.G., Slobodjan S.N., Sav'juk V.E. 1978. Effektivnost' mineral'nych udobrenij v el'nikach i bučinach severnych megasklonov Ukrainskich Karpat. Lesovodstvo i Agrolesomelioracija 51. K., „Urožaj“: 34—38.
- Poller S., Hoffmann K. 1967. Zur chemischen Zusammensetzung von Buchenholz auf verschiedenen Standorten. Arch. Forstw. 16 (10): 1065—1072.
- Praag H.J., Weissen F., Brigode N., Dufour J. 1974. Évaluation de la quantité d'azote minéralisé par an, dans un sol de Hêtraie Ardennaise. Bull. Soc. Roy. Bot. Belg. 107: 133—145.
- Prenzel J. 1979. Mass flow to the root system and mineral uptake of a beech stand calculated from 3-year field data. Plant and Soil 51 (1): 39—49.
- Rendoš F. 1964. Štúdium dusikatých látok dreva I. Zmena obsahu dusíka v dreve počas ročného obdobia. Drev. Výskum (2): 57—61.
- Schönnamsgruber H. 1955. Studien über den Phosphathalt von jungen Holzpflanzen, insbesondere von Pappeln. Mitt. württemb. forstl. VersAnst. 12 (2): 1—68. Forestry Abstr. 17 No. 1202.
- Schönnamsgruber H. 1959. Mineralstoffuntersuchungen an Waldgesellschaften Baden-Württembergs. 1. Buchen-Eichenwald auf weissem Schlufflehm (Hohenloher Ebene). Ber. Dtsch. Bot. Ges. 72 (5/6): 220—229.
- Seibt G. 1977. Ergebnisse einiger Kalkdüngungsversuche in Nordwestdeutschland. Forstarchiv 48 (10): 197—199.

- Staeva L. 1970. V'rchu s"d'ržanieto na mikroelementite med, cink i molibden v listata na njakoi d'rvesni vidove. Naučni Trudove, Vysšij Leso-tehničeskij Institut, Sofija (Gorsko Stopanstvo) 18: 181—186.
- Stier 1958. Die Förderung der Buchennaturverjüngung durch NH_3 — Be-gasung. Forst- u. Holzwirt 13 (16): 302—304.
- Trillmich H.-D. 1969. Düngung von Mischbeständen in einem Rauch-schadengebiet des Erzgebirges. Wiss. Z. Tech. Univ. Dresden 18 (3): 807—816.
- Tulstrup N.P. 1951. Et gødningsforsøg i Egelund planteskole. Dansk Skovforen. Tidsskr. 36 (3): 105—114. Forestry Abstr. 13 No. 3772.
- Ulrich B. 1968. Ausmass und Selektivität der Nährelementaufnahme in Fichten- und Buchenbeständen. Allg. Forstzeitsch. 23 (47): 815.

MINERAL NUTRITION

Summary

Beech is a species that has medium requirements as regards mineral nutrients. Compared to Scots pine it uses less nitrogen for the production of wood but more phosphorus, potassium, calcium and magnesium.

On the basis of literature data the range of concentrations is given for numerous macro- and microelements in leaves, buds, wood, bark and roots in trees growing under optimal conditions of mineral nutrition. In buds and particularly in leaves there exists a considerable seasonal variation. Nitrogen concentration for example can change by a factor of 2 or 3. Leaf samples for mineral analyses have to be collected therefore at a fixed time, best in August, and from the same position in the tree crown.

A review is given of the studies performed so far on the mineral nutrition of beech in pot cultures as well as on the effects of field fertilization on growth and volume production. The conclusions of these investigations and fertilization recommendations are discussed.

